

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
7. Dezember 2000 (07.12.2000)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 00/73847 A2

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: G02F 1/00

GEIGER, Harald [DE/DE]; Zugspitzstrasse 3, D-82061  
Neuried (DE). NOE, Reinhold [AT/DE]; Helmerner Weg  
2, D-33100 Paderborn (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE00/01564

(22) Internationales Anmeldedatum:  
17. Mai 2000 (17.05.2000)

(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGE-  
SELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, D-80506 München  
(DE).

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(81) Bestimmungsstaaten (national): CN, JP, US.

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
199 24 347.6 27. Mai 1999 (27.05.1999) DE  
199 36 075.8 30. Juli 1999 (30.07.1999) DE

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,  
BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC,  
NL, PT, SE).

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE];  
Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE).

Veröffentlicht:

— Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu  
veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.

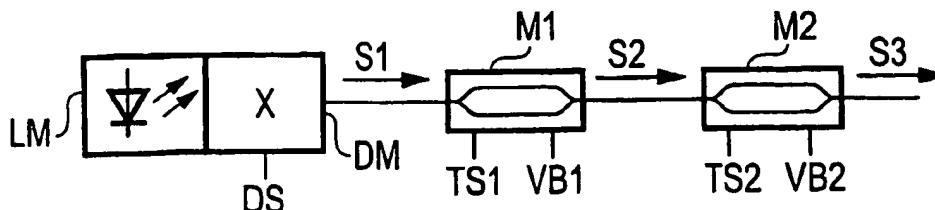
(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): FÜRST, Cornelius  
[DE/DE]; Schäfflamstrasse 172, D-81371 München (DE).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen  
Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on  
Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe  
der PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: METHOD AND SYSTEM FOR GENERATING RETURN-TO-ZERO SIGNALS

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND ANORDNUNG ZUR ERZEUGUNG VON RZ-SIGNALEN



(57) Abstract: For optical transmission narrow pulses are generated with the aid of at least two modulators (M1, M2), drive signals (TS1, TS2) having the same frequency but different amplitudes being used. The modulators present different operating points.

(57) Zusammenfassung: Für die optische Übertragung werden schmale Impulse mit Hilfe von mindestens zwei Modulatoren (M1, M2) erzeugt, in dem Treibersignale (TS1, TS2) gleicher Frequenz mit unterschiedlichen Amplituden verwendet werden, wobei die Modulatoren unterschiedliche Arbeitspunkte aufweisen.



WO 00/73847 A2

## Beschreibung

## Verfahren und Anordnung zur Erzeugung von RZ-Signalen

- 5 Eine Gruppe optischer Übertragungssysteme, die mit hohen Datenraten arbeitet, benötigt Folgen von kurzen Impulsen, die als RZ-Impulse (return to zero) bezeichnet werden. Ein optischer Impuls kann hierbei eine logische 1 repräsentieren, während ein fehlender Impuls einer logischen 0 eines binären  
10 Signals entspricht.

Aus dem Patent DE 44 41 180 C1 ist es bekannt, durch Ketten-schaltung zweier mit sinusförmigen Spannungen angesteuerter Modulatoren, die mit unterschiedlichen Frequenzen betrieben  
15 werden, solche Impulse zu erzeugen. Nachteilig ist es, daß ein Frequenzteiler zur Erzeugung des zweiten Treibersignals erforderlich ist und beide Modulatoren mit hohen Leistungen angesteuert werden müssen.

- 20 Dieses Prinzip zur Erzeugung von kurzen Impulsen ist bereits aus dem Patent US 4,505,587 bekannt, bei dem ultrakurze Impulse mit Hilfe einer Vielzahl von Modulatoren erzeugt werden, wobei sich die Frequenzen der Treibersignale jeweils verdoppeln.

25 Aus Elektronik Letters 5<sup>th</sup> August 1993, Vol. 29, No. 16, Seiten 1449 bis 1451 ist das Erzeugen von kurzen optischen Impulsen mit Hilfe von phasenverschobenen Spannungen gleicher Frequenz bekannt. Diese Phasenverschiebung muß jedoch exakt  
30 eingehalten werden, wenn die spitzen Impulse eine konstante Form aufweisen sollen.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren und eine Anordnung zum Erzeugen von möglichst konstanten optischen Impulsen  
35 anzugeben.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren nach Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Anordnungen sind in den unabhängigen Ansprüchen 5 und 6 angegeben.

- 5 Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen beschrieben.

Vorteilhaft ist bei dieser Erfindung, daß das zweite Treiber-  
signal nur eine geringe Treiberspannung und damit eine ge-  
10 ringe Leistung benötigt. Für beide Modulatoren kann - von unterschiedlichen Amplituden abgesehen - das gleiche Treiber-  
signal verwendet werden. Die Phasenbeziehung zwischen den  
beiden Treibersignalen ist außerdem relativ unkritisch.

- 15 Die Erfindung wird anhand von Figuren näher erläutert.

Es zeigen:

- Figur 1 das Prinzipschaltbild einer Anordnung zur Durchfüh-  
20 rung des Verfahrens,  
Figur 2 ein Diagramm zur Erläuterung der Funktion des ersten  
Modulators,  
Figur 3 ein Diagramm zur Erläuterung der Funktion des zweiten  
Modulators,  
25 Figur 4 ein Diagramm zur Erläuterung der gesamten Anordnung,  
Figur 5 eine Weiterbildung der Anordnung und  
Figur 6 eine vorteilhafte Anordnung mit zwei in einem Chip  
integrierten Modulatoren,  
Figur 7 ein Mach-Zehnder-Modulator mit periodischen Elektro-  
30 denausführungen und  
Figur 8 ein weiterer Mach-Zehnder-Modulator mit  
periodischen Elektrodenausführungen.

- Figur 1 zeigt die Reihenschaltung eines Lasersmoduls LM, das  
35 auch einen Datenmodulator DM enthalten kann, dem ein binäres  
DS zugeführt wird. In Reihe mit dem Lasersmodul LM sind zwei  
Modulatoren M1 und M2 geschaltet. Für die Erfindung unwesent-

liche Bauelemente wie Verstärker oder Filter sind nicht dargestellt. Das Ausgangssignal des Lasersmoduls S1 wird meist ein binär moduliertes (on/off) optisches Signal sein. Wird die Anordnung jedoch nur zur Erzeugung einer optischen Impulsfolge verwendet, so kann auf den Datenmodulator verzichtet werden und dem ersten Modulator als Eingangssignal S1 ein kontinuierliches optisches Signal zugeführt werden. Die weiteren Diagramme gehen davon aus, daß das optische Signal vorhanden ist.

10

Dem ersten Modulator M1 wird ein erstes Treibersignal TS1 zugeführt, das einen sinusförmigen oder sinusähnlichen Verlauf hat. Prinzipiell sind auch noch andere Kurvenformen denkbar, diese stellen jedoch erhöhte Anforderungen an die Bandbreite der Anordnung. Der Arbeitspunkt des ersten Modulators wird, wie in **Figur 2** dargestellt, durch eine erste Vorspannung (Bias-Spannung) VB1 (in der Figur normiert und auf das Maximum der Transmission bezogen) so festgelegt, daß die Transmission (Übertragungsfunktion) des ersten Modulators zumindest annähernd ein Maximum erreicht. Dies entspricht dem normierten Transmissionswert TR von 1. Die Amplitude des ersten Treibersignals ist so gewählt, daß bei den Spitzenwerten der Treiberspannung jeweils der minimale Transmissionswert, hier 0, erreicht wird. Dies ist bei einer normierten Treiberspannung  $V/V\pi$  von  $\pm 1$  der Fall (und wiederholt sich periodisch). Das Resultat der ersten Modulation, das Ausgangssignal des Modulators M1, das zweite Signal S2, weist die doppelte Frequenz wie das Treibersignal TS1 auf und ist in im Zeitdiagramm **Figur 4** gestrichelt dargestellt. Der zweite Modulator M2 wird, wie in **Figur 3** dargestellt, mit einem zweiten Treibersignal TR2 derselben Frequenz, jedoch - bei gleichen Modulatoren - mit zumindest annähernd  $\frac{1}{4}$  der Amplitude des ersten Treibersignals angesteuert. Der Arbeitspunkt VB2 liegt hierbei um  $\frac{1}{4} V/V\pi$  der normierten Treiberspannung von dem Spannungswert  $V/V\pi = 1$  entfernt bei dem die Transmission den Minimalwert 0 aufweist; in **Figur 3** bei  $V/V\pi = 3/4$ .

In Figur 4 wurde zum besseren Verständnis eine weitere Funktion SlxTS2 eingezeichnet, die der zweite Modulator liefern würde, wenn ihm ein konstantes Eingangssignal zugeführt wird. Da er jedoch das zweite Signal S2 als Eingangssignal erhält, ergibt sich als Produkt das resultierende Signal S3. Die in Figur angegebenen Zahlenwerte entsprechend einem Ausführungsbeispiel, bei dem zusätzlich Verstärker eingefügt sind. Die Modulatoren können natürlich in beliebiger Reihenfolge geschaltet sein.

10

Eine Verkürzung der Impulse des Ausgangssignals S3 läßt sich erzielen, wenn der erste Modulator M1 entsprechend um mindestens einen weiteren Modulator ergänzt wird, denen entsprechend dem US Patent 4,505,587 durch weitere Modulatoren ergänzt wird, denen Treibersignale mit vielfachen Frequenzen zugeführt werden. In Figur 5 wurde nur ein weiterer Modulator M11 hinzugefügt.

Um Frequenzänderung - Chirp - durch die Modulatoren zu vermeiden, werden zweckmäßigerweise Zweistrahl-Interferometer verwendet, bei denen die Phasenmodulation in einem Arm gleich dem Negativen der Phasenmodulation im anderen Arm ist. Dies erreicht man beispielsweise durch Mach-Zehnder-Interferometer, in welchen die modulierenden Anteile der elektrischen Felder (aufgrund Elektrodengeometrie) und optische Felder (aufgrund Wellenleitergeometrie) eine gemeinsame, longitudinal verlaufende Symmetrieebene besitzen.

Es ist besonders vorteilhaft, daß zumindest zwei Modulatoren M1 und M2 entsprechend Figur 6 in einem Chip realisiert werden, wobei das elektrische Treibersignal TS1 in Serie durch beide Modulatoren geführt wird (Wanderwellenprinzip). Die Ausbreitungsgeschwindigkeiten des Treibersignals und des optischen Signals werden hierbei in an sich bekannter Weise aneinander angepaßt. Die geringe Dämpfung des Treibersignals im ersten Modulator erlaubt es, mit dem durchgeführten Treibersignal den zweiten Modulator anzusteuern. Zwischen den beiden

Modulatoren ist in den Signalweg des Treibersignals ein Anpassungsglied AG eingeschaltet, das für die notwendige Dämpfung und ggf. Phasenverschiebung (D+PH) sorgt. Das elektrische Signal kann mit einem Abschlußglied intern oder extern abgeschlossen werden. Im Baustein kann auch eine Phasenanpassung zwischen Treibersignal und der Lichtwelle vorgesehen sein. Selbstverständlich können noch weitere Bauelemente in dem Chip angeordnet sein.

10 Jeder Modulator weist für das optische Eingangssignal S1 bzw S2 zwei verschiedene Wege auf, deren Laufzeiten durch elektrische Spannungen beeinflussbar sind. Wenn die Laufzeiten gleich sind ( $V/V\pi = 0$ , ...), addieren sich die beiden Teilwellen, sind die Laufzeiten dagegen um  $180^\circ$  ( $\pi$ ) des Eingangssignals unterschiedlich ( $V/V\pi = \pm 1$ , ...), dann ergänzen sie  
15 sich zu 0. Die Modulatoren werden häufig so ausgeführt, daß durch die Treiberspannungen die Laufzeit eines Signalweges verkürzt und die des zweiten Signalweges verlängert wird. Die Vorspannungen können auch intern erzeugt werden.

20 Auf eine Abschwächung im Anpassungsglied AG kann dann verzichtet werden, wenn man den zweiten Modulator - relativ gesehen - unempfindlicher macht als den ersten. Dies erfolgt in vorteilhafter Weise dadurch, daß die Länge des Mach-Zehnder-  
25 Interferometers M2 kürzer als die des Mach-Zehnder-Interferometers M1 gewählt wird; im Idealfall dämpfungsfreier Elektroden wäre die elektrooptische Interaktionslänge in M2 viermal so kurz wie in M1.

30 Zur Optimierung der Modulationseffizienz kann es günstig sein, auf Anpassung der Ausbreitungsgeschwindigkeiten von optischer und elektrischer Welle zu verzichten. In solchen Fällen muß man auf andere Weise dafür sorgen, daß optische Welle und elektrische Modulationsphase nicht auseinanderlaufen.

35 Dazu ist eine örtlich periodische Umkehrung des elektrischen Feldes des Ansteuersignals geeignet. In Figur 8 ist dies am Beispiel des Mach-Zehnder-Interferometers M1 dargestellt.

Dieses ist auf einem Lithiumniobat-Substrat SUB untergebracht. Die optische Achse Z verläuft senkrecht zur Zeichenebene, man nennt dies auch Z-Schnitt. Es besteht aus einem Wellenleiter WG, welcher sich im Bereich des Modulators M1 in  
5 zwei Arme WG1, WG2 aufspaltet, und Elektroden EL, EM, ER. An einem elektrischen Eingang EE wird das hochfrequente Steuerungssignal in die durch die Elektroden EL, EM, ER gebildete Koplanarleitung eingespeist. Dabei sind EL, ER die Masseelektroden und EM trägt das Treibersignal TS1. Die Koplanarlei-  
10 tung läuft anschließend zum Anpassungsglied AG und Modulator M2. Mit einer räumlichen Periode L verläuft die Mittelelektrode in Strecken der Länge L/2 abwechselnd über dem Wellenleiterarm WG2 und dem Wellenleiterarm WG1. Eine Massefläche, also eine der beiden Masseelektroden EL, ER der Koplanarlei-  
15 tung, liegt in diesen Bereichen abwechselnd über dem jeweils anderen Wellenleiterarm. Auf diese Weise verläuft das elektrische Feld der Elektroden mit der Periode L periodisch. Ziel ist es, die optische Welle während des Durchlaufs durch die Wellenleiterarme WG1, WG2 möglichst überall in derselben  
20 Richtung zu modulieren. Dazu muß gelten

$$L \cdot |1 / v_{el} - 1 / v_{opt}| = 1 / f_{el}.$$

Hier ist L die räumliche Periode,  $v_{el}$  die elektrische Ausbreitungsgeschwindigkeit im koplanaren Wellenleiter,  $v_{opt}$  die optische Ausbreitungsgeschwindigkeit und  $f_{el}$  die elektrische  
25 Modulationsfrequenz. Üblicherweise verlaufen elektrische und optische Welle in derselben Richtung, so daß  $v_{el}$  und  $v_{opt}$  dasselbe Vorzeichen besitzen. Es ist jedoch auch möglich, elektrische und optische Welle in entgegengesetzten Richtungen sich ausbreiten zu lassen. In diesem Fall ist für L ein  
30 viel kleinerer Wert zu wählen und es ergibt sich eine geringere elektrische Modulationsbandbreite (um  $f_{el}$  herum). Bei Verwendung zweier kaskadierter Mach-Zehnder-Interferometer M1, M2, welche mit derselben Frequenz betrieben werden, kann die Einspeisung eines elektrischen Signals in der Mitte zwi-  
35 schen beiden Interferometern von Interesse sein. In diesem Fall müßte das erste Interferometer M1, welches die optische

Welle durchläuft, mit einer der optischen Welle entgegenlaufenden elektrischen Welle, das zweite Interferometer M2 mit einer gleichlaufenden elektrischen Welle betrieben werden.

- 5 In Figur 7 schließlich ist ein Mach-Zehnder-Interferometer M1 mit einer symmetrischen, nur aus Elektroden EL, ER bestehenden Leitung abgebildet. Um die periodische Elektrodenstruktur zu erreichen, sind Elektrodenüberkreuzungen mittels isolierender Zwischenschicht oder durch Bonddrähte vorgesehen.

10

Zur Minimierung des Bedarfs an Steuerleistung kann schließlich das den Modulator einschließende Gehäuse als Hochfrequenzresonator ausgeführt sein.



## Patentansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung von RZ-Signalen mit mehreren in Serie geschalteten Modulatoren (M1, M2), denen ein optisches  
5 Signal (S1) zugeführt wird,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß der erste Modulator (M1) zumindest annähernd einen Arbeitspunkt (VB1) für das erste Treibersignal (TS1) aufweist,  
bei dem die Transmission (TR) ein Maximum (1) aufweist,  
10 daß die Transmission (TR) bei den Spitzenwerten ( $V/V\pi = -1, +1$ ) des ersten Treibersignals (TS1) jeweils zumindest annähernd ein Minimum (0) aufweist,  
daß der zweite Modulator (M2) zumindest annähernd einen Arbeitspunkt (VB2) aufweist, der um  $1/4$  des Abstandes zwischen  
15 den einer maximalen und benachbarten minimalen Transmission (1, 0) zugehörigen Arbeitspunkten ( $V/V\pi = 0; 1$ ) von einem der minimalen Transmission (0) zugehörigen Arbeitspunkt ( $V/V\pi = 1$ ) entfernt ist, und  
daß dem zweiten Modulator ein zweites Treibersignal (TS2) zugeführt wird, dessen Amplitude so gewählt ist, daß seine  
20 Spitzenwerte (1; 0,5) zumindest annähernd zur Ansteuerung zwischen einem Minimalwert (0) der Transmission (TR) und der Hälfte (0,5) des Maximalwertes der Transmission (TR) liegen.
- 25 2. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Modulation in Mach-Zehnder-Modulatoren erfolgt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
30 dadurch gekennzeichnet,  
daß zur Verkürzung der RZ-Impulse mindestens eine weitere Modulation des optischen Signals (S1) mit mindestens einem weiteren Treibersignal (TS11) durchgeführt wird, wobei jedes weitere Treibersignal (TS11) die doppelte Frequenz des vorhergehenden Treibersignals aufweist.  
35

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als optisches Signal (S1) ein binär moduliertes Signal der Reihenschaltung der Modulatoren (M1, M2) zugeführt wird.

5

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß in einem Modulator (M1, M2) eine räumlich periodische Änderung des Vorzeichens des Modulationssignals vorgenommen wird, wobei die Periodenlänge (L) multipliziert mit dem Betrag  $(|1/V_{el} - 1/V_{opt}|)$  der Differenz  $(1/V_{el} - 1/V_{opt})$  zwischen dem Inversen  $(1/V_{el})$  der Ausbreitungsgeschwindigkeit ( $V_{el}$ ) des elektrischen Treibersignals (TS1, TS2) und dem Inversen  $(1/V_{opt})$  der Ausbreitungsgeschwindigkeit ( $V_{opt}$ ) des optischen Signals (S1) wenigstens näherungsweise das Inverse  $(1/F_{el})$  der elektrischen Modulationsfrequenz ( $F_{el}$ ) ergibt.

10

15

6. Anordnung zur Erzeugung von RZ-Signalen mit mehreren in Serie geschalteten Modulatoren (M1, M2), denen ein optisches Signal (S1) zugeführt wird, dadurch gekennzeichnet, daß eine Reihenschaltung von mindestens zwei Modulatoren (M1, M2) vorgesehen sind, daß diesen Modulatoren (M1, M2) als Treibersignale (TS1, TS2) Signale derselben Frequenz aber mit unterschiedlichen wirksamen Amplituden im Verhältnis von 1 : 4 zugeführt sind. daß mindestens zwei Modulatoren (M1, M2) unterschiedliche Arbeitspunkte (VB1, VB2) aufweisen, wobei bei einem Arbeitspunkt (VB1) die Transmission ein Maximum (1) aufweist und der andere Arbeitspunkt so gewählt ist daß nur bei einem Spitzenwert des zweiten Treibersignals (TR) die Transmission (TR) einen Minimalwert (0) aufweist.

20

25

30

7. Anordnung zur Erzeugung von RZ-Signalen mit mehreren in Serie geschalteten Modulatoren (M1, M2), denen ein optisches Signal (S1) zugeführt wird,

35

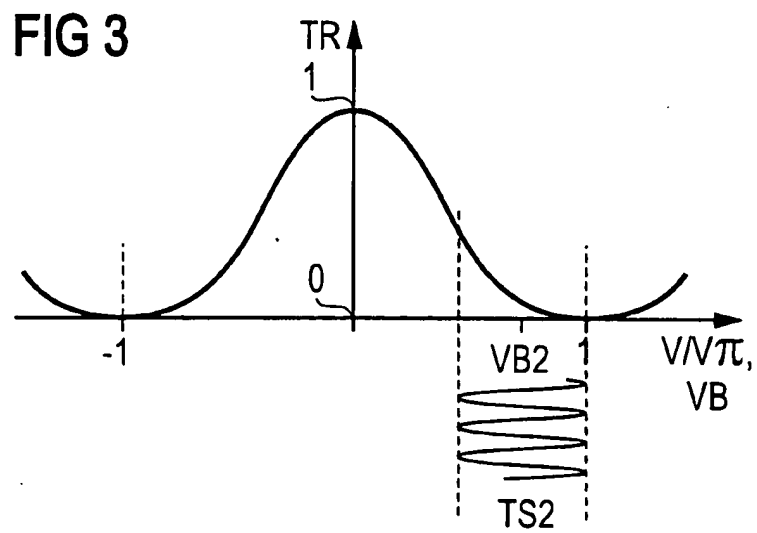
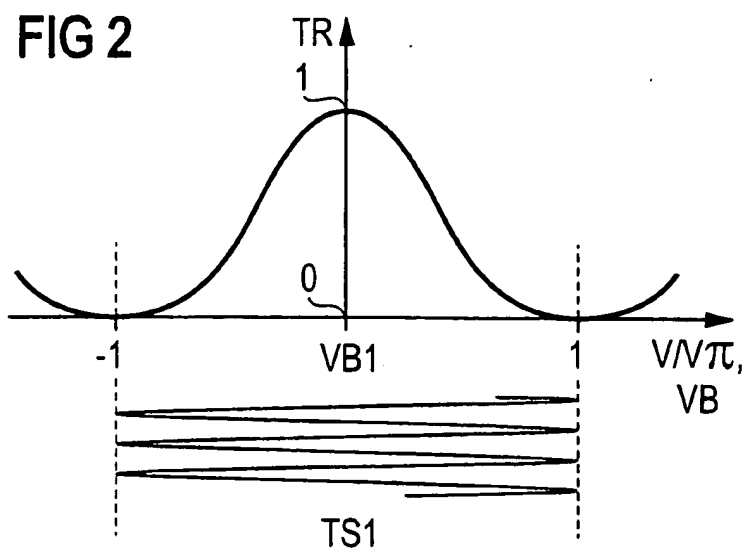
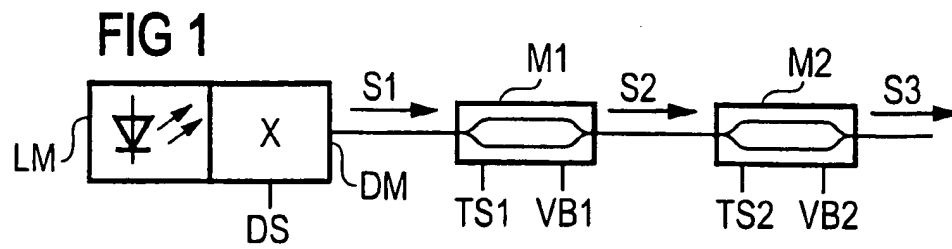
10

dadurch gekennzeichnet,  
daß mindesten zwei Modulatoren (M1, M2) auf einem Chip integriert sind und  
daß das elektrische Treibersignal (TS1) durch beide Modulatoren (M1, M2) geführt ist, wobei zwischen den Modulatoren ein Anpassungsglied (AG) zur Amplituden- und/oder Phasenanpassung vorgesehen ist.

8. Anordnung nach Anspruch 6 oder 7,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß Mach-Zehnder-Modulatoren vorgesehen sind.

9. Anordnung nach einem der Ansprüche 6 bis 8,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß ein Modulator (M1, M2) räumlich periodische Steuerelektroden (EL, EM, ER) besitzt, wobei die Periodenlänge (L) multipliziert mit dem Betrag  $(|1 / V_{el} - 1 / V_{opt}|)$  der Differenz  $(1 / V_{el} - 1 / V_{opt})$  zwischen dem Inversen  $(1 / V_{el})$  der Ausbreitungsgeschwindigkeit ( $V_{el}$ ) des elektrischen Treibersignals (TS1, TS2) und dem Inversen  $(1 / V_{opt})$  der Ausbreitungsgeschwindigkeit ( $V_{opt}$ ) des optischen Signals (S1) wenigstens näherungsweise das Inverse  $(1 / F_{el})$  der elektrischen Modulationsfrequenz ( $F_{el}$ ) ergibt.

1/4



2/4

FIG 4

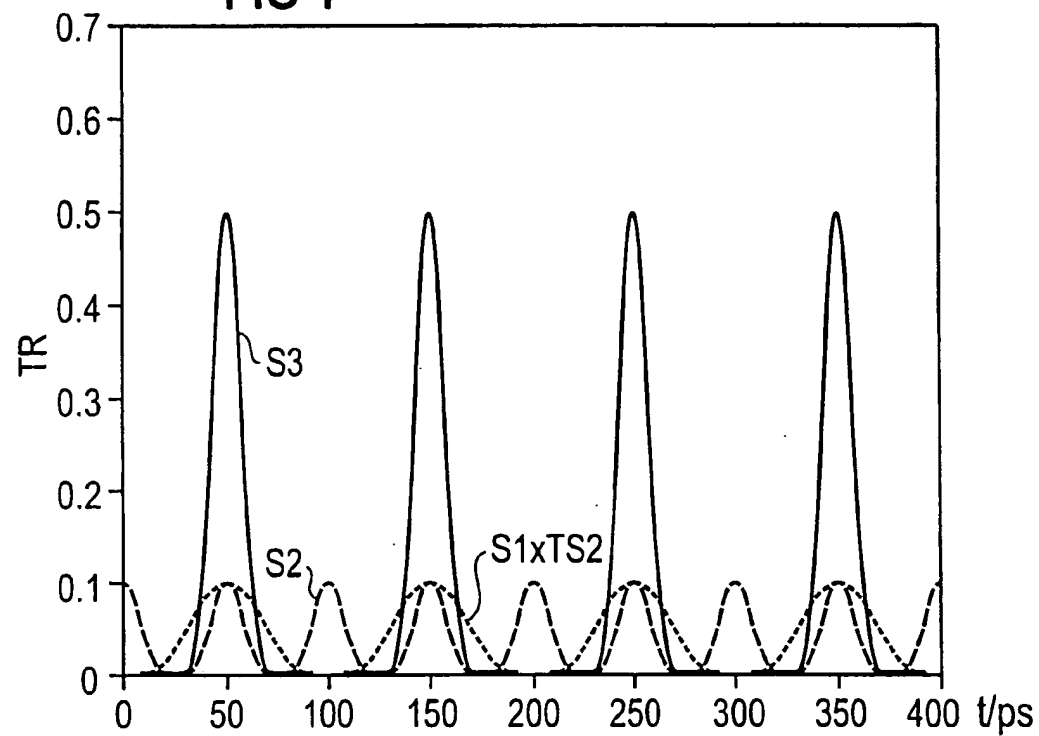


FIG 5

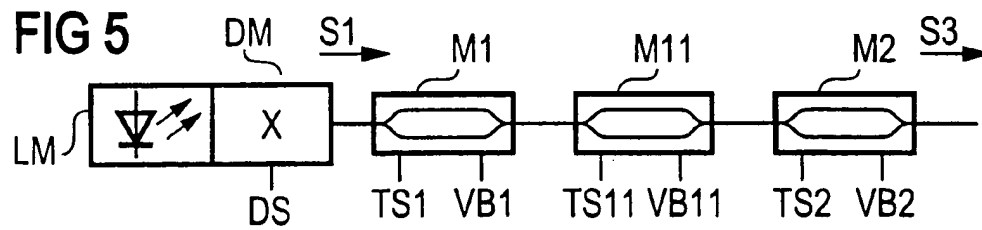
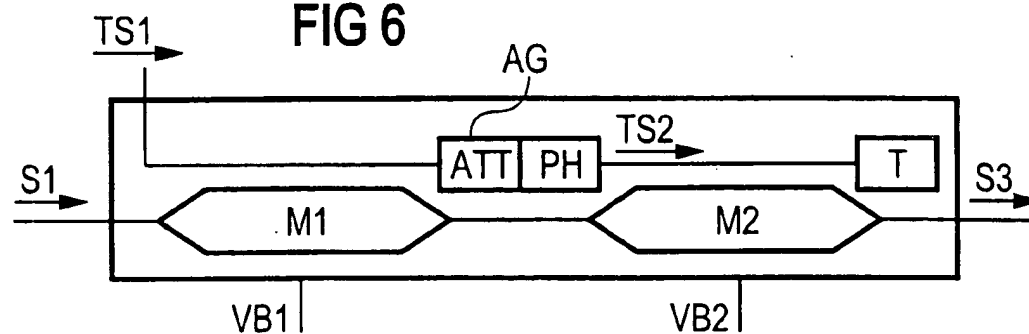
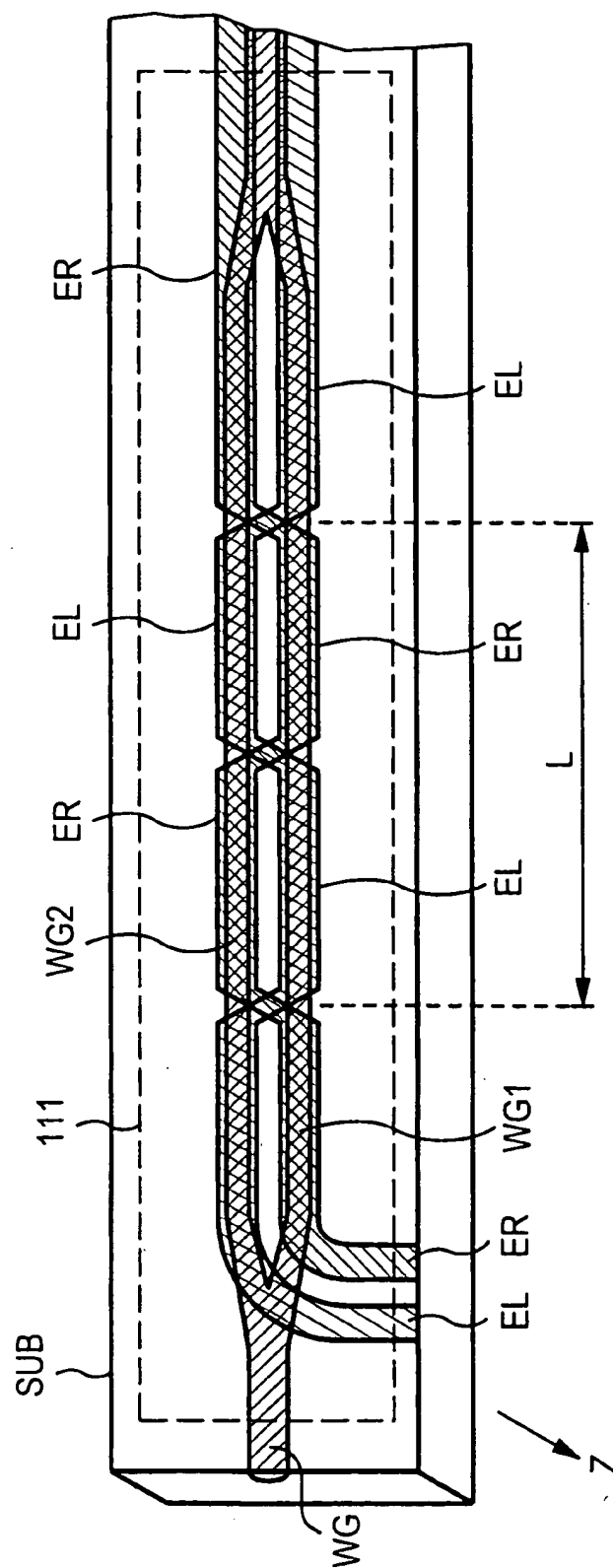


FIG 6



3/4

FIG 7



**FIG 8**